

Marialina Norring

# Infrahankkeiden ohjeistus ja kehitys – pilotti Espoon kaupungille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

31.5.2017

|   |   |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko   | Marialina Norring<br>Infrahankkeiden ohjeistus ja kehitys – pilotti Espoon kaupungille      |
| Sivumäärä<br>Aika   | 32 sivua<br>31.5.2017   |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma  | maanmittaustekniikka  |
| Ohjaajat  | lehtori Ilkka Partonen<br>osastopäällikkö Harri Sivonen<br>palvelupäällikkö Saara Pakarinen |
| <p>Insinööriytyön pohjana on Espoon kaupungin ja Pöyry Finland Oyn yhteinen pilottihanke, jonka tarkoituksena oli tuottaa ohjeistusta infrahankkeille koskien tarkemittauksia ja toteutumamallin tuottoa. Lisäksi ohjeistus Infrakit-pilvipalvelun käytöstä sisältyi pilotin tavoitteisiin. Ohjeiden tavoitteena oli helpottaa tilaajan, urakoitsijan ja suunnittelijan yhteistyötä infrahankkeissa. Insinööriytyön alussa perehdytään aiheeseen liittyviin käsitteisiin ja ohjelmistoihin, esitellään yleistä asiaa suunnittelusta ja mallinnuksesta, Yleisistä inframallivaihtimuksista, InfraBIM-nimikkeistöstä sekä Inframodel-tiedonsiirtoformaateista. Pilotointi tehtiin esimerkkiprojekti Vihdintien parannushankkeen yhteydessä. Hankkeessa käytettiin Infrakit-pilvipalvelua.</p> <p>Pilottihankkeen yhteistyökumppanien kesken pidettiin kokouksia, joissa ohjeita muokattiin. Myös Vihdintien esimerkkiprojektin esille tuomat ongelmat ja toiveet otettiin huomioon ohjeistuksia luonnostellessa. Tarkemittausohje ja toteutumamallia koskeva ohje oli insinööriytyön valmistumishetkellä luonnosvaiheessa, Infrakit-projektiohjeen kehittämistä jatketaan insinööriytyön jälkeen esimerkkihankkeen loppuun.</p> <p>Tietomallinnus jo itsessään on melko uusi toimintatapa ja se kehittyy jatkuvasti. Kehitystyöhön tarvitaan monen tahon yhteistyötä, jotta mallinnusta voidaan kehittää yhtenäiseen suuntaan. Tietomallien hallinnointi perustuu siihen, että malli on sekä laadullisesti nimikkeistönsä osalta että teknisesti kooditasoltaan vakioitu.</p> <p>Insinööriytyön pohdinnan myötä huomattiin tiedon tallennuksen automatisoinnin olevan yleinen ongelma infrahankkeissa. Hankkeet tulisi kerätä yhdenmukaisesti samaan järjestelmään, joka on kunnan omassa hallinnassa, eikä hallinnoida niitä eri prosessein monissa eri projektipankeissa.</p> |   |
| Avainsanat  | inframalli, tiesuunnittelu, Infrakit, ohjeistus   |

|  |  |
|--|--|
| Author<br>Title  | Marialina Norring<br>Infra model development pilot project for Espoo City                                |
| Number of Pages<br>Date  | 32 pages<br>31 May 2017  |
| Degree   | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme   | Land Surveying   |
| Instructors  | Ilkka Partonen, Senior Lecturer<br>Harri Sivonen, Department Manager<br>Saara Pakarinen, Service Manager |
| <p>This final year project was made to develop instructions for the City of Espoo for their upcoming construction projects. The major aim was to produce standard conventions for saving and naming information. A major part of the final year project was a pilot project with the aim of producing instructions for infrastructure projects. The instructions to be produced were instructions for structure surveying, instructions for an as-built model and instructions for using the Infrakit cloud service in infrastructure projects.</p> <p>For the instructions, infrastructure modeling and design, as well as earlier instructions of the topic were collected. In addition, a sample project that had used the Infrakit cloud computing, an open source construction collaboration toolkit for real-time data sharing, project management and faster project completion, was studied.</p> <p>The instructions were at a draft stage at the time of the completion of the thesis. The development of the Infrakit project instruction continues until, and the aim is, eventually, add the instructions to the building instructions for infrastructure projects of Espoo as annexes, to ease the mutual understanding of the commissioner, designer and contractor.</p> |  |
| Keywords   | infrastructure model, infrastructure design, Infrakit, instructions                                      |

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto                                     | 1  |
| 2     | Tietomallinnus                               | 2  |
| 2.2   | Tiedonsiirto ongelmana                       | 3  |
| 2.3   | Yleiset inframallivaatimukset, YIV/2015      | 3  |
| 2.3.1 | InfraBIM-nimikkeistö                         | 5  |
| 2.3.2 | Inframodel-formaatti                         | 5  |
| 2.4   | Toteutusmalli ja toteumamalli                | 6  |
| 2.5   | Tarkemittaus                                 | 7  |
| 2.6   | 3D-koneohjaus                                | 7  |
| 2.6.1 | 3D-koneohjauksen hyödyt                      | 8  |
| 2.6.2 | Koneohjausmalli                              | 9  |
| 2.6.3 | RTK-mittaus                                  | 9  |
| 2.7   | Lyhyesti suunnittelusta                      | 9  |
| 2.8   | Mallinnus tiesuunnittelun eri vaiheissa      | 10 |
| 3     | Esimerkkiprojekti Vihdintien parannushanke   | 13 |
| 3.1   | Vihdintie-hankkeen esittely                  | 13 |
| 3.2   | Tarke ja toteuma Vihdintiellä                | 14 |
| 4     | Infrakit-pilvipalvelu                        | 16 |
| 4.1   | Infrakitin ominaisuudet                      | 16 |
| 4.2   | Inframallien tuonti Infrakitiin              | 17 |
| 5     | Tietomallipilotti                            | 18 |
| 5.1   | Tietomallipohjaisten hankkeiden yleinen ohje | 18 |
| 5.2   | Infrakit-projektiohje                        | 19 |
| 5.2.1 | Ohjeistus inframallien tuontiin              | 19 |
| 5.2.2 | Hankkeen muutos                              | 21 |
| 5.2.3 | Tiedostojen tallentaminen ja laadunhallinta  | 22 |
| 5.3   | Tarkemittausohje                             | 22 |
| 5.3.1 | Mittausvälit                                 | 23 |
| 5.3.2 | Tarkemittausten tarkkuusvaatimukset          | 24 |
| 5.3.3 | Mittausohje                                  | 25 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.4   | Toteumamalliohje                        | 25 |
| 5.4.1 | Milloin toteutusmallia päivitetään      | 25 |
| 5.4.2 | Ylimmän yhdistelmäpinnan toteumamalli   | 25 |
| 5.4.3 | Alin, jakava ja kantava yhdistelmäpinta | 26 |
| 5.4.4 | Toteumamallin tarkkuus                  | 26 |
| 5.4.5 | Toteumamalliaineiston toimitus          | 27 |
| 6     | Yhteenveto                              | 28 |
| 6.1   | Lopputulos                              | 28 |
| 6.2   | Tulevaisuudennäkymät                    | 28 |
|       | Lähteet                                 | 30 |

## Lyhenteet ja käsitteet

|                    |  |
|--------------------|--|
| 3D-koneohjausmalli | Inframallista jalostettu malli koneohjauksen tarpeisiin.   |
| BIM                | Building Information Model. Rakentamisen tietomallinnusta tarkoittava käsite.  |
| GNSS               | (Global Navigation Satellite System) on satelliittipaikannukseen perustuva mittaustapa.  |
| InfraRYL           | Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. InfraRYL sisältää infrarakenteiden tekniset- ja toimivuusvaatimukset. Teknisiä vaatimuksia käytetään rakennusosien ja työvaiheiden laatua määritettäessä. Toimivuusvaatimukset taas kuvaavat rakenteen ja sen osien elinkaarenaikaista käyttäytymistä. Tekniset vaatimukset määrittelevät rakenteiden valmistushetken vaatimuksia. |
| Infrakit           | Digitaalinen järjestelmä infraprojektien sujuvoittamiseen ja hallintaan. Infrakit-pilvipalveluun ladatut suunnitelmat ja niihin tehdyt muutokset, tarkkeet ja toteuma näkyvät reaaliaikaisesti suunnittelijalle, tilaajalle ja urakoitsijalle.   |
| inframalli         | Infra-alan asianosaisten käyttämä tietomalli, joka on yleensä LandXML-formaatissa. Ideaalitilanteessa yhden mallin avulla pyritään hallinnoimaan rakennelman elinkaarta aina suunnittelusta toteutukseen ja ylläpidon kautta purkamiseen.  |
| Inframodel (IM)    | Avoin LandXML-pohjainen tietomäärittely mallipohjaisten infratietojen siirtoon. Inframodel-dokumentaatio kuvaa tietosisällön ja käytännöt, kuinka LandXML-standardia käytetään Suomessa. Inframodel sisältää vain osan LandXML:n tiedoista.  |
| LandXML            | Yleisesti käytetty kansainvälinen maanrakentamisen XML-pohjainen määrittely infra- ja maanmittaustiedolle. Ohjelmisto, jonka avulla hallinnoidaan tietokantoja.  |

|                 |   |
|-----------------|---|
| lähtötietomalli | Lähtötietomalli kuvaa hankkeen suunnittelualueen nykytilaa.. Lähtötietomallilla tarkoitetaan sovittunlaista tapaa koota, muokata ja dokumentoida suunnittelun lähtöaineisto formaattiin, joka tukee tietomallipohjaista suunnittelua.                                     |
| RTK             | (Real Time Kinematic) Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, on koneohjauksessa yleisesti käytettävä mittaustapa, jossa käytetään tunnetulla pisteellä olevaa tukiasemaa, joka lähettää satelliiteista mittaamansa vaihehavainnot edelleen paikantavalle vastaanottimelle. |
| takymetri       | Maanmittauksessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan säteittäisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden.  |
| tietomalli      | Yleisellä tasolla tietomalli on kuvaus tiedon rakenteesta tai suunnitelma tiedon esitystavasta. Tietomallilla voidaan esittää rakennelman kolmiulotteista rakennetta ominaisuustietoineen.  |
| tarkepiste      | Tarkepisteellä tarkoitetaan mittaushenkilön takymetrillä tai GNSS-laitteella mitattua XYZ-koordinaatit omaavaa pistemäistä tietoa.  |
| toteumapiste    | Toteumapisteellä tarkoitetaan XYZ-koordinaatit omaavaa pistemäistä tietoa, joka on mitattu koneenkuljettajan toimesta 3D-ohjausjärjestelmän omaavalla työkonella, tai mittaushenkilön mittalaitteella mittaamaa pistettä.   |
| toteutusmalli   | Toteutusmalli kertoo, miten inframallin mukainen hanke rakennetaan suunnitelmien mukaan. Inframallin osajoukko, joka kattaa toteutuksen näkökulman, esimerkiksi rakentamisen tehtävät, resurssit ja ajoituksen.   |
| toteumamalli    | Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa suunnitelmien ja toteutuksen lopullisen toteuman.   |

|                 |   |
|-----------------|---|
| YIV2015         | Yleiset inframallivaatimukset. Infra-alan tietomallinnuskäytäntöjen ohjeistus.  |
| yhdistelmämalli | Yhdistelmä lähtötietomalleista ja suunnittelumalleista, kootuna 3D-navigointiin soveltuvalla katselutyökalulla. Yhdistelmämallia käytetään muun muassa yhteensopivuuden tarkistamiseen eri rakennusosien välillä. |



## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä oli tarkoitus tuottaa ohjeita Vihdintien parannushankkeelle helpottamaan suunnittelijan ja tilaajan yhteistyötä sekä selvittää yhteiset pelisäännöt tarkemittausten tekoon ja toteumamallin valmistamiseen. Työ on tehty yhteistyössä Pöyry Finland Oy:n ja Espoon kaupungin kanssa, molempien osapuolten hyödyksi. Esimerkkiprojektina käytettiin Vihdintien väyläprojektia, jonka rakennus alkoi lokakuussa 2016. Lisäksi insinööriyössä valotetaan ohjeiden lähtökohtia ja taustaoletuksia ja suunnittelijan ja tilaajan välisen yhteistyön muotoja. Esimerkkiprojektin suunnitelmat tulivat Pöyry Oy:ltä, ja urakka oli Espoon kaupungin tilaama. Urakoitsijana hankkeessa oli JJ-Kaivin ja Kallio Oy. Urakassa käytettiin apuna Infakitiä, pilvipalvelua, jonka kautta jaettiin suunnitelmat urakoitsijalle, ja jossa myös näkyy reaaliajassa projektin kehittyminen. Tuotteena tästä pilotista oli tarkoitus saada kolme ohjetta Espoon kaupungille: tarkemittausohje, toteumamalliohje ja Infrakit projektiohje, jotka pystyttäisiin lisäämään liitteiksi Espoon kaupungin viralliseen ohjeeseen. Alustukseksi tässä insinööriyössä on esitelty yleisiä asioita koneohjauksesta, suunnittelusta ja inframalleista, Vihdintien esimerkkiprojektista ja siinä käytössä olleesta Infrakit-pilvipalvelusta.

Aikataulullisten tekijöiden vuoksi Infrakit-ohjelman uusien toimintamallien ja ratkaisujen etsintä jatkuu pilotissa opinnäytetyön palautuksen jälkeen. Tarkemittausohje ja toteumamalliohje jäivät luonnoksiksi insinööriyön valmistumishetkellä.

## 2 Tietomallinnus

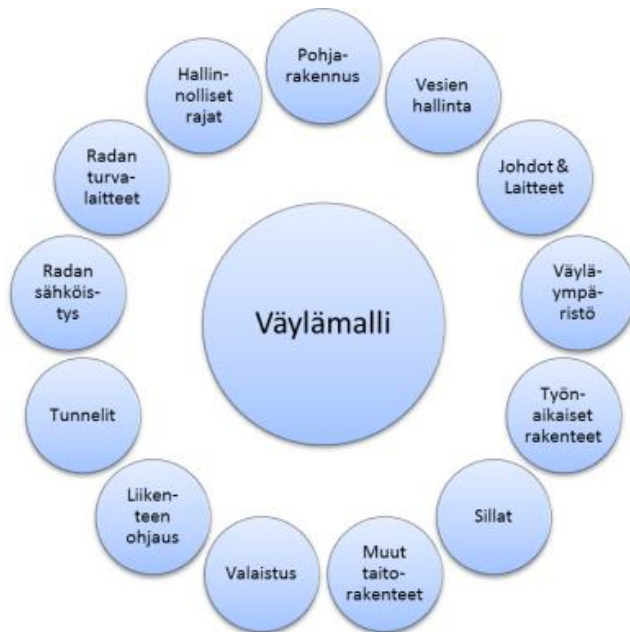
Yleisellä tasolla tietomalli on kuvaus tiedon rakenteesta tai suunnitelma tiedon esitystavasta. Tietomallilla voidaan esittää minkä tahansa rakennelman, kuten tien, kadun tai sillan, kolmiulotteista rakennetta ominaisuustietoineen. Ideaalitilanteessa yhden mallin avulla pyritään hallinnoimaan rakennelman elinkaarta aina suunnittelusta toteutukseen ja ylläpidon kautta rakenteen purkamiseen. [1] Suunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaa, että digitaalisessa muodossa olevalle kappaleelle pystytään antamaan kaikki fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet [3, s. 17].

Tietomallinnus mahdollistaa muutoksen perinteisestä tavasta toimia 2-ulotteisessa näkymässä. Muutos koskee siirtymistä pois kuvasta älykkääseen semanttisesti hallittavaan tietoon. Tietomallipohjaisessa hankkeessa dokumenttien hallinta on älykästä, koko elinkaaren ja kaikki osa-alueet, toimijat ja toiminnot kattavaa. Tähän sisältyy olennaisimpana osana elinkaaren eri vaiheissa syntyvien ja päivitettävien tietomallien sähköinen hyödyntäminen ja hallinta. [10] Infra-alalla tietomallista käytetään nimeä inframalli.

### 2.1 Inframalli

Inframallista helpoiten irrotettavissa on esimerkiksi taitorakenteiden (sillat, meluesteet, ym.) erilliset tietomallit, joista puhutaan taitorakennepaikan tietomallina. Koko väyläverkoston kattavaan yhteen tietomalliin on vielä hyvin pitkä matka. Liikenneviraston määrittymiset infran ylläpitovaiheen tietomallin vaatimuksista ovat kesken. Tällä hetkellä mallintamisen hyödyntäminen keskittyy suunnitteluun ja toteutukseen. Lisäksi menetelmällä saavutetaan säästöjä mm. materiaalimenekeissä, ja se on oiva apu massalaskennassa. Tietomallien ylläpidon käytännön sovelluksia on olemassa hyvin vähän. [1]

Mallintamisen laajuus ja tarkkuustaso vaihtelee hankkeen tyypin mukaan, ja mallintamisen tarkkuus ja yksityiskohtaisuus hankkeen sisällä voi vaihdella eri suunnittelualojen kesken. Tässä insinööriyössä käsitellään väylän parannushanketta. Tyypillisessä infrahankkeessa väyläsuunnittelijan ylläpitämä väylämalli toimii pohjana kaikelle muulle suunnittelulle (kuva 1). Väylämallin geometrioiden ja pintamallin tietosisältö vaihtelee hankkeesta riippuen. [9]



Kuva 1. Väylämalli määrittelee ja ohjaa muiden rakenteiden suunnittelua [9].

## 2.2 Tiedonsiirto ongelmana

Yleisin aikaa ja kustannuksia kuluttava tekijä rakennusurakoissa on tiedonsiirto. Tietomallintaminen parantaa hankkeen sisäistä tiedon siirtoa aina suunnittelusta omaisuudenhallintaan. Haasteena on toistaiseksi tiedon tallennuksen ja nimikkeistön vakioimattomuus. Puutteellisen tiedon siirron on todettu olevan rakennushankkeissa suurin yksittäinen syy hukan syntymiseen. Suunnittelun ja konsulttialojen liiton SKOL:n mukaan jopa 30 % työajasta kuluu tiedonsiirtoon ja siihen liittyviin ongelmiin. Tämän vuoksi on alettu etsiä kätevämpiä, yhtenäisiä tapoja tiedonsiirtoon. Tällaisia yhteisesti sovittuja standardeja on esimerkiksi tiedonsiirto LandXML:n mukaisesti. [2, s. 91; 1.] Lisäksi menetelmällä saavutetaan säästöjä mm. materiaalimenekeissä.

## 2.3 Yleiset inframallivaatimukset, YIV2015

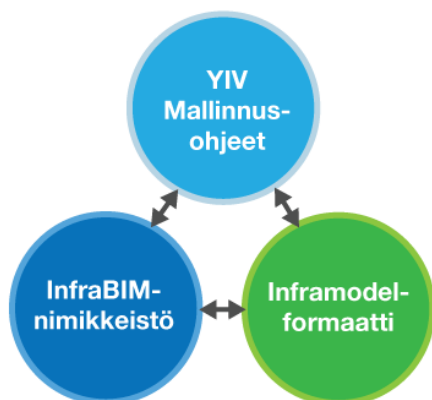
Yleiset inframallivaatimukset (YIV) kattavat lähtötiedot, suunnittelun eri vaiheet, rakentamisen, rakennetuntodentamisen sekä käytön ja ylläpidon. YIV2015-ohjeiden tavoitteena on ohjata, yhdenmukaistaa ja kehittää koko infra-alan mallinnuskäytäntöjä. [14] Yleisiä inframallivaatimuksia käytetään myös hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina [11].

Yleisten ohjeiden ja vaatimusten tarve on syntynyt suurimpien tilaajien tavoitteesta siirtää tietomallintamiseen infrahankkeissa. Tilaajilla ja tarjoajilla on oltava yhteinen näkemys siitä, mitä ja miten rakenteet mallinnetaan. Inframallinnusta tullaan kehittämään jatkuvasti osaamisen ja työvälineiden kehittymisen myötä. [11]

Yleiset inframallivaatimukset 2015 koostuu seuraavista osista:

- 1 Tietomallipohjainen hanke
- 2 Yleiset mallinnusvaatimukset
- 3 Lähtötiedot
- 4 Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
- 5 Rakennemallit; Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällysy- ja pintarakenteet ja maa-rakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) ja toteutusmallin laadintaohje
- 6 Rakennemallit; Järjestelmät
- 7 Rakennemallit; Rakennustekniset rakennusosat
- 8 Inframallin laadunvarmistus
- 9 Määrälaskenta, kustannusarviot
- 10 Havainnollistaminen
- 11 Infran hallinta
- 12 Inframallin hyödyntäminen eri suunnitteluvaiheissa ja infran rakentamisessa.

Tässä insinööritoiminnossa ja tietomallipilotissa on käytetty erityisesti osia 1, 2, 5, 8 ja 12. Yleisissä inframallivaatimuksissa on käytetty pohjana InfraRYLiä, ja lopputuotteen on täytettävä aina InfraRYL-vaatimukset. YIV2015 toimii yhdessä infraBIM-nimikkeistön ja Inframodel-formaatin kanssa (kuva 2).



Kuva 2. YIV2015 toimii yhdessä Inframodel-formaatin ja InfraBIM-nimikkeistön kanssa [21].

### 2.3.1 InfraBIM-nimikkeistö

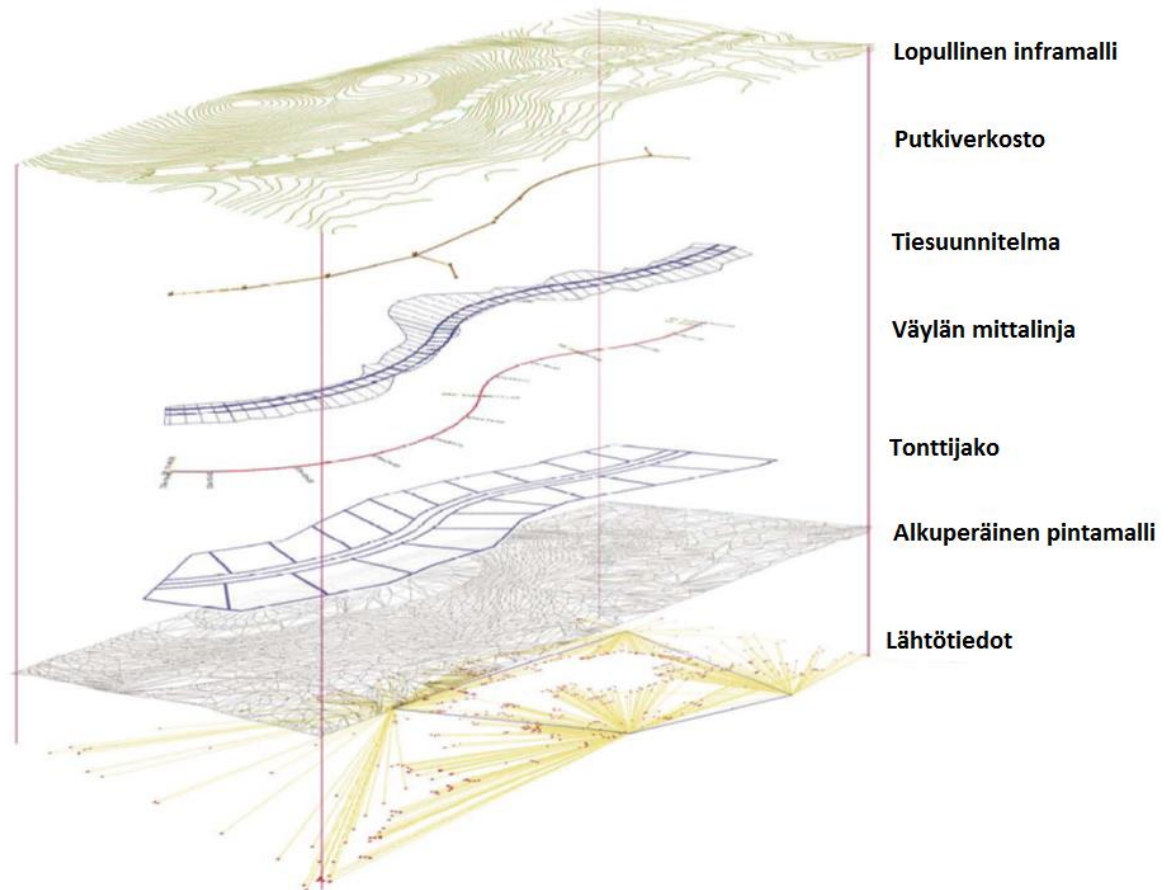
InfraBIM-nimikkeistössä esitetään infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. InfraBIM-nimikkeistö on yhtenäinen numerointi- ja nimeämiskäytäntö, joka pohjautuu Infra2015-rakennusosanimikkeistöön. Sen tarkoitus on palvella nimeämiskäytännöissä koko rakentamisen elinkaaren ajan aina lähtötietojen hankinnasta, suunnitteluun, toteutukseen, toteuman mittaukseen sekä valmiin rakenteen ylläpitomallissa. InfraBIM-nimikkeistö ohjeistaa nimeämiskäytännöt väylärakenteiden (tie, katu, rata, vesiväylä) pinnoissa ja taiteviivoissa. [13]

### 2.3.2 Inframodel-formaatti

Kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva Inframodel on avoin menetelmä infratietojen siirtoon. Inframodel-formaatin tarkoituksena on toimia infran suunnitteluohjelmissa sekä mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. Nyt käytössä oleva Inframodel-formaatti on vuonna 2014 yleiseen käyttöön otettu Inframodel 3. Inframodelin viimeisin versio on Inframodel 4. Uusi versio on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2017 aikana. [12]

LandXML-standardin tavoitteena on tarkentaa XML-formaatti infrasuunnitteluun ja rakentamisen mittauksia varten. LandXML-formaatti on luotu helpottamaan ja yksinkertaistamaan suunnitteludatan tiedonsiirtoa suunnittelijan ja käyttäjän (urakoitsijan) välillä, tarjotakseen pysyvän tiedostoformaatin tietojen säilyttämiseen sekä tarjoamaan

standardiformaatin sähköisen suunnittelun esittämiselle. [13] Kuvassa 3 on esitelty, kuinka LandXML-formaatti koostuu ja minkälaista tietoa se voi sisältää. Toisaalta LandXML-formaatin tiedonsiirrossa on vielä kehittämisen varaa, sillä tällä hetkellä se mahdollistaa hyvin kirjavan tavan tallentaa tietoa, mikä hankaloittaa tiedonsiirtojen automatisointia.



Kuva 3. Esimerkki LandXML-formaatin sisällöstä [15].

## 2.4 Toteutusmalli ja toteumamalli

Toteutusmalli on rakennettavan kohteen työsuunnittelua, paikalleen mittausta ja koneautomaatiota varten tarvittava malli tietystä rakenneosasta ja sen pinnasta. Hankkeen kaikki inframallit yhdessä muodostavat yhdistelmämallin. Eri rakennepintojen toteutusmallit muodostuvat 3D-taiteviivoista ja/tai pintamalleista (kolmioverkkomalleista).

Toteumamalli on rakennusvaiheen toteumilla päivitetty lähtötietomalli ja suunnitelma-malli. Toteumamallissa esitetään ainakin kalliopinnan todellinen sijainti sekä työmaalla hyväksytyt muutokset. Toteumamalli dokumentoi sen, mitä todellisuudessa rakennet-tiin. Toteumamallitietoa voidaan käyttää myöhemmin kohteen ylläpidossa, hoidossa ja uudelleenrakennuksessa. [16] Voidaan ajatella, että toteutumamalli on toteutusmalli, jos toteutusmallista ei ole poikettu toleranssien ylityksillä tai rakenteiden muutoksilla.

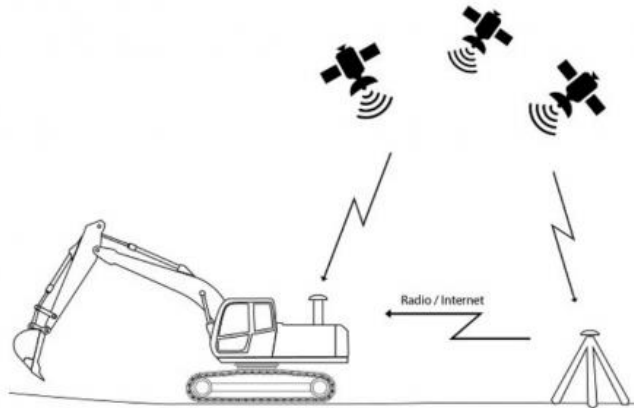
## 2.5 Tarkemittaus

Tarkemittaus on työmaalla, joko työkoneella tai mittamiehen toimesta, tehtävä mittaus, jonka tietoa voidaan käyttää esimerkiksi massalaskennassa tai työsuoritteiden toden-tamisessa [1, s. 89]. Tarkemittauksilla pyritään varmistamaan rakenneosan sijainti ja muoto. Jos tarkemittausten toleranssiraja ylitetään, täytyy rakennetta korjata, jotta päästään vaadittuihin lukuihin. Pahimmassa tapauksessa toleranssien ylittäminen joh-taa rakenteen hylkäykseen, jolloin rakenneosa joudutaan rakentamaan uudelleen. Tar-ke ja toteuma ei kuitenkaan ole automaattisesti yhteydessä. Eri työmailla on eri käytän-töjä tarke- ja toteumapisteiden käytöstä. Tarkepiste voi muuttua toteumaksi jos se hy-väksytään toteumamalliin.

Tarkemittauksia ja toteumamallia selvitetään tämän insinööriyön luvuissa 5.3 ja 5.4.

## 2.6 3D-koneohjaus

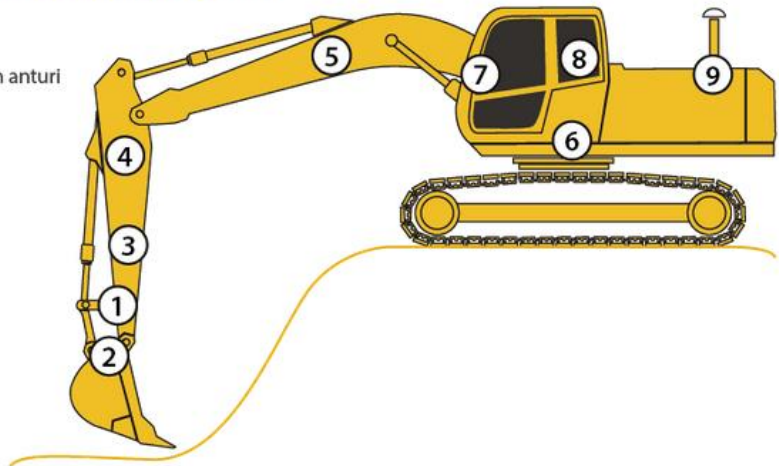
Automaattista koneohjausta käytetään työmailla muun muassa kaivinkoneissa, tie-höylissä ja puskukoneissa. Työkoneen 3D-ohjausjärjestelmä toimii RTK-satelliittipaikannuksen avulla, joka määrittää koneen sijainnin tukiaseman sijaintitiedon perusteella. Tukiasema, eli kiinteä vastaanotin, on asetoitu koordinaateiltaan tunnetul-le pisteelle. Tukiaseman signaalin avulla työkoneen kauhan anturit laskevat kauhan huulilevyn sijainti- ja korkeustiedon (kuva 4). Näin ollen kaivinkoneen ohjaaja pystyy mittaamaan tarkepisteen koneen kauhalla ja näkee suunnitelmalta sijaintinsa. Tällöin mittamiehen maastoon merkinnät eivät ole tarpeellisia, vaan kaivinkoneen kalibrointi säännöllisesti ja tarkemittausten ohjeistettu tarkastaminen säännöllisesti takymetrillä riittää. [4; 1, s. 95–96.] Kuvassa 5 on esitelty, kuinka kaivinkoneeseen on rakennettu koneohjausta vaativat komponentit.



Kuva 4. Koneohjauksen menetelmä [19].

### Koneohjausjärjestelmän komponentit

- 1 Kauha-anturi
- 2 Kauhan sivuttaiskallistuksen anturi
- 3 Laservastaanotin
- 4 Kaivuvarren anturi
- 5 Pääpuomin anturi
- 6 Runkoanturi
- 7 Näyttö-/tietokoneyksikkö
- 8 GNSS-vastaanottimet
- 9 GNSS-antennit



Kuva 5. Koneohjausjärjestelmän komponentit [4].

#### 2.6.1 3D-koneohjauksen hyödyt

3D-koneohjaus tuottaa säästöjä polttoainekuluissa, mittauskuluissa, työajassa, materiaalimenekeissä. Työturvallisuus paranee, kun koneiden ulkopuolista liikkumista vähennetään, esimerkiksi mittamiehen liikkuminen työkoneen läheisyydessä vähenee huomattavasti. Laatu paranee 3D-koneohjauksella, sillä työkoneella on jatkuvasti oikea sijainti- ja korkeusasema. Toteumien keräys myös helpottuu koneohjauksen avulla, sillä mittamiehen ei välttämättä tarvitse tulla niitä mittaamaan erikseen, vaan koneen ohjaaja voi mitata ne itsenäisesti esim. kaivinkoneen kauhalla. Tämä edistää laadunvalvontaa, kun toteumamalli syntyy sitä mukaa kun projekti etenee. [7]



### 2.6.2 Koneohjausmalli

Varsinaisista suunnitelmista jalostetaan 3D-koneohjausmalli, joka pystytään lataamaan työmaan koneisiin. Yleensä työmaan mittauspäällikkö tai muu asiantuntija tekee inframalleihin tarvittavat muokkaukset, jotta malli sopii 3D-koneohjausmalliksi, ellei tarjouksessa olla erikseen luvattu koneohjausmallia Inframodel-muodossa. [9] Suurissa hankkeissa mittauspäällikkö muokkaa 3D-koneohjausmallit sopivan kokoisiksi lohkoiksi, esimerkiksi tietyille työkoneille. Kaivinkoneen tietokoneen suorituskyky hidastuu, jos siihen on ladattu liikaa koneohjausmalleja.

### 2.6.3 RTK-mittaus

RTK-mittaus on konehjauksessa käytettävä mittaustapa, joka tarvitsee avukseen tukiaseman (base), eli tunnetulla pisteellä olevan vertailuvastaanottimen, joka on yhteydessä samoihin satelliitteihin kuin paikantava vastaanotin (koneohjauksessa työkone). Vertailuvastaanotin lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikantavalle vastaanottimelle, minkä avulla paikantava vastaanotin pystyy ratkaisemaan alkutuntemattoman.

Tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen välillä tulee olla tiedonsiirtoyhteys internetin, radiomodeemin tai matkapuhelinverkon avulla. Näistä internet- ja matkapuhelinverkkoysteys ovat parhaita vaihtoehtoja, kun koneet liikkuvat kaukana tukiasemasta, sillä mittaukset pysyvät tarkkana jopa 20 kilometriin asti. Radiomodeemilla korjausdata välittyy vain 1–10 kilometrin etäisyydelle tukiasemasta. [6, s. 319–320.]

## 2.7 Lyhyesti suunnittelusta

Infra-sana tulee sanasta infrastruktuuri, joka käsittää kaikki yhteiskunnan perusrakenteet. Infrasuunnittelun piiriin kuuluu tie-, rata-, vesiväylä-, katu-, alue-, kunnallistekniikka- ja vesihuollon suunnittelu. Näitä hallinnoivat eri viranomaiset; teitä Tiehallinto, ratoja Ratahallintokeskus, vesiväylistä vastaa Merenkululaitos, katuja, alueita ja kunnallistekniikkaa hallinnoivat kaupungit ja kunnat, vesihuollosta vastaavat kunnat ja vesilaitokset. [1, s. 10.]

Infrahankkeet voidaan jakaa kahteen osaan; uusinvestointeihin ja nykyisten kohteiden parantamisprojekteihin. Suunnittelun alussa tarkastellaan eri vaihtoehtoja alueen rakentamiselle, joista valitaan sitten yksi, jota lähdetään toteuttamaan. Kohteesta ja sen

merkittävydestä ja laajuudesta riippuen kunkin vaiheen suunnittelutarkkuus ja päätöksenteko sovitetaan yhteen maankäytön suunnittelun kanssa. Esimerkiksi pienissä koh-teissa suunnittelu- ja päätöksentekovaiheita voidaan yhdistää. [1, s. 11.]

Itse näin esimerkkiprojektin suunnittelutoimiston näkökulmasta, Pöyryn tiesuunnittelu-osaston harjoittelijana. Suunnitelmat oli tehty TeklaCivil-ohjelmistolla ja niistä oli tehty inframallit Inframodel3-formaattiin. Inframallit pystyttiin lataamaan suoraan Infrakitiin, jossa ne näkyivät kaikille käyttäjille; suunnittelijalle (Pöyrylle), tilaajalle (Espoon kaupungille), työmaakoneille, työnjohdolle ja valvojille.

Kuvassa 6 on esitelty tiesuunnitteluprosessin vaiheet.



Kuva 6. Tiesuunnitteluprosessin vaiheet [1, s. 19].

## 2.8 Mallinnus tiesuunnittelun eri vaiheissa

Mallinnuksen tavoitteena on, että aikaisemmin syntynyttä tietoa voidaan hyödyntää tulevilla hankevaiheilla. Korkea tiedon jälleenkäyttöarvo säästää aikaa ja koko hankkeen kustannuksia. Jo prosessin alussa, lähtötietojen hankinnasta alkaen, pyritään keräämään tiedot tarkasti, jotta niitä voidaan hyödyntää myöhemmin. Toisaalta epärelevantit tiedot poistuvat aina prosessin jatkaessa uuteen vaiheeseen. [16] Kuvassa 7 esitellään mallinnuksen hyödyt esisuunnitelmavaiheesta ylläpitovaiheeseen.

|                                | Esisuunnittelu | Yleissuunnittelu | Tiesuunnittelu | Rakennus-<br>suunnittelu | Urakkatarjous-<br>vaihe | Rakentaminen | Hoito ja ylläpito |
|--------------------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| Tiedon jälleenkäyttöarvo       |                |                  |                |                          |                         |              |                   |
| Suunnittelun laadunvarmistus   |                |                  |                |                          |                         |              |                   |
| Visualisointi ja vuorovaikutus |                |                  |                |                          |                         |              |                   |
| Työmaaprosessien tehostaminen  |                |                  |                |                          |                         |              |                   |

Kuva 7. Mallinnuksen hyötyjen painotus eri hankevaiheissa [16].

Suunnitelmien rakennusosat tarkentuvat aina siirryttäessä hankevaiheesta seuraavaan. Esisuunnitteluvaiheessa selvitetään eri vaihtoehtojen vaikutusta ympäristöön, liikenteeseen, yhdyskuntarakenteeseen ja palveluihin. Esisuunnitteluvaiheessa mallinetaan yleensä vain olennaisimmat kohdat hankealueesta. [16]

Yleissuunnitteluvaiheessa tarkentuvat hankkeen vaihtoehdot, jolloin pystytään määrittelemään tien likimääräinen sijainti ja kytkennät nykyiseen sekä tulevaan maankäyttöön, liikenteelliset ja tekniset perusratkaisut, hankkeen vaikutukset ja alustava kustannusarvio sekä ympäristöhaittojen torjumisen periaatteet. Yleissuunnitteluvaiheen tärkein tehtävä on saada hankkeelle mahdollisimman laaja hyväksyttävyys. Mallinnuksen tarkoitus onkin tässä vaiheessa lisätä suunnitelmien ymmärrettävyyttä ja olla tukena eri osapuolien vuorovaikutuksessa. [16]

Tiesuunnitteluvaiheessa tien sijainti on jo niin tarkka, että tiealue voidaan merkitä maastoon. Tiesuunnitelmavaiheessa lähtötietomallin laatiminen on tärkein osa ja yksityiskohdat jätetään rakennussuunnitelmavaiheeseen. Tiesuunnitelmavaiheessa laaditaan usein vaihtoehtoja ja käydään vuoropuhelua asianosaisten kanssa. Mallintaminen palvelee myös näitä tehtäviä. Tiesuunnitelmavaiheen jälkeen tulee täydennyssuunnitelma, jos tiehanke toteutetaan käyttäen rakennussuunnitelmaa. Tiesuunnitelman täydennyssuunnitelmaa varten inframallinnuksessa on panostettava lähtötietomallin korkeaan laatuun. Tämä tarkoittaa mallin laajuuden ja tiedon riittävyyden varmistamista mm. tekemällä täydennysmittauksia ja tutkimuksia sekä hinnoittelun kannalta oleellisten rakenneosien suunnittelun viemistä pidemmälle. [16]

Rakennussuunnitelman laatimisessa tarvittavat inframallit ovat suunnitelmamalli ja lähtötietomalli. Rakennussuunnitteluvaiheessa mallinnetaan tien rakenne suunnitellun tiegeometrian ja rakennepoikkileikkausten mukaisena. Suunnitelmaan sisältyvät myös kaikki tiehen kuuluvat kuivatus-, pohjanvahvistus-, meluntorjunta- ja ympäristörakenteet sekä muut varusteet ja laitteet, kuten kaiteet, valaisimet ja liikenteenohjauslaitteet ja ne mallinnetaan. [19]

Rakentamisvaiheessa toteutusmallista muokataan toteumamallia muuttuvien rakenteiden osalta. Valmis toteumamalli jää omaisuuden hallinnan sekä hoidon ja ylläpidon tietopankiksi, jonka perusteella tienpitäjä (tai muu käyttäjä) pystyy valmistamaan ylläpitomallin. [16]

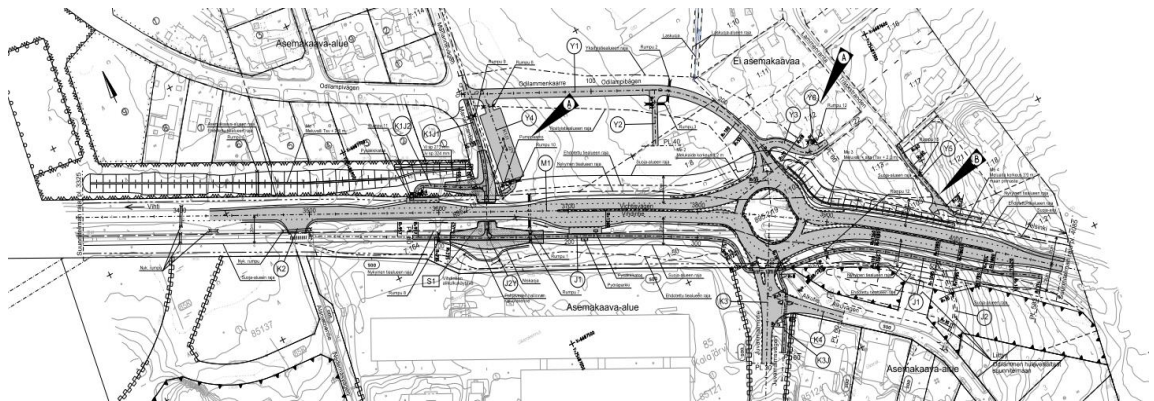
### 3 Esimerkkiprojekti Vihdintien parannushanke

#### 3.1 Vihdintie-hankkeen esittely

Tässä työssä esimerkiprojektina on Vihdintien (Mt 120) parannushanke Mariannantien ja Juvanmalmintien kohdalla.

Vihdintielle rakennetaan turbo-kiertoliittymä, joka yhdistää Juvanmalmintien Vihdintiehen. Parannettava osuus on kokonaisuudessaan n. 760 m. Mariannantien nykyinen liittymä poistetaan, ja kulku Vihdintielle on järjestetty Odilammenkaaren kautta turbo-kiertoliittymään. Maantie levennetään 4-kaistaiseksi molemmin puolin kiertoliittymää noin 120 metrin matkalla. Kevyen liikenteen turvallisuuden parantamiseksi rakennetaan kevyen liikenteen alikulkukäytävä nykyisen Mariannantien liittymän kohdalle. Melusuojausta parannetaan rakentamalla meluesteitä Vihdintien pohjoispuolelle nykyisten asutusten kohdille. Melutorjunta toteutetaan maavallein, melukaitein ja meluseinin.

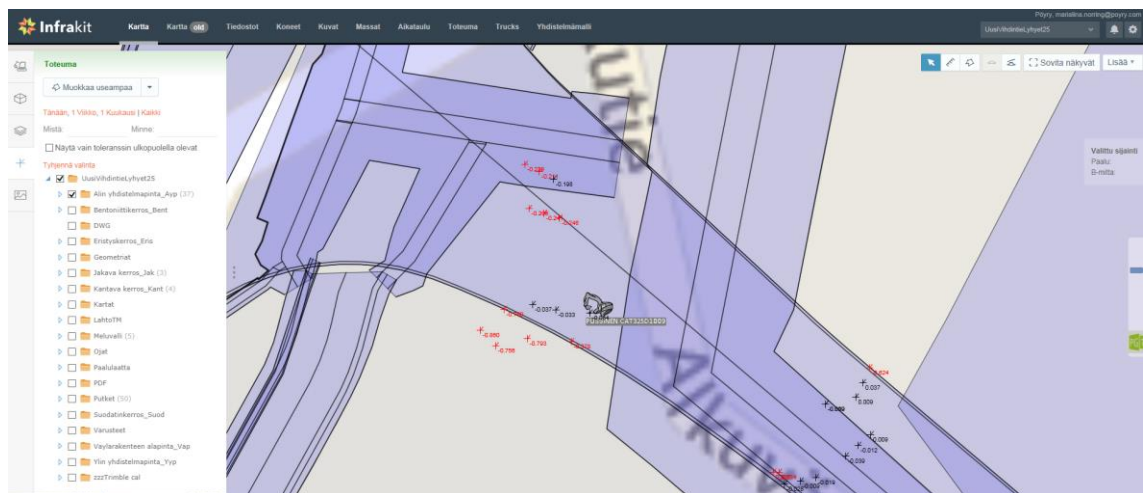
Vihdintie kuuluu suurten erikoiskuljetusten runkoreitistöön, ja Juvanmalmintie on esitetty varauksena erikoiskuljetusten reitille. Alueella liikkuu paljon koululaisia, minkä vuoksi alikulkukäytävä kevyelle liikenteelle on valittu liikkumisen turvaamiseksi. Kuvassa 8 on Vihdintien esimerkiprojektin suunnitelmakartta, josta näkyvät väylien tunnuksot.



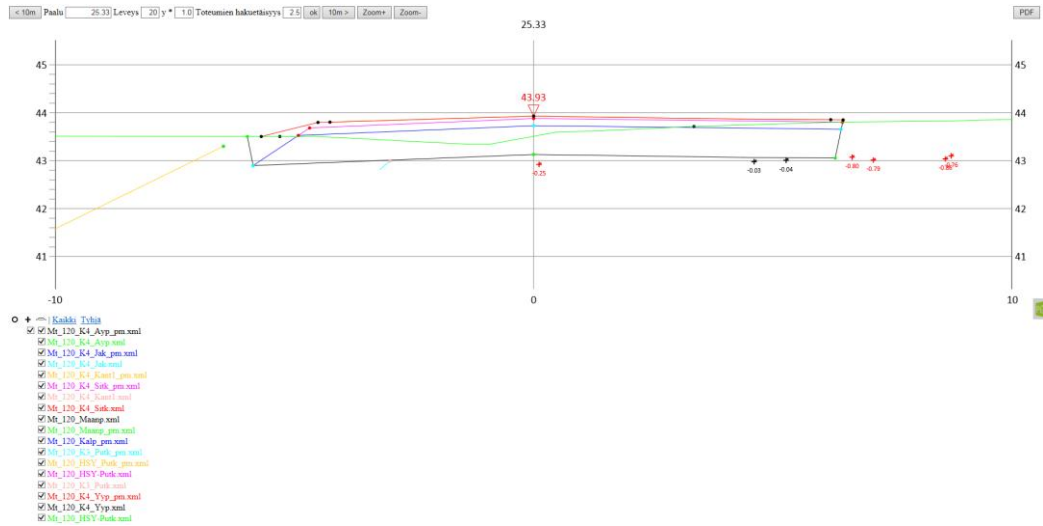
Kuva 8. Vihdintie-hankkeen suunnitelmakartta.

### 3.2 Tarke ja toteuma Vihdintiellä

Vihdintien esimerkkiprojektissa käytössä ollut Infrakit-palvelu mahdollisti sen, että toteuma ja tarkkeet tallentuivat reaaliajassa Infrakitiin. Tarkkeet mitattiin koneohjauksella varustetuilla työkoneilla tai mittamiehen toimesta. Mittamiehen mitaamat pisteet ladattiin Infrakitiin, jolloin järjestelmä vertaa tuotuja mittapisteitä automaattisesti pisteiden tallennuskansiossa oleviin pintamalleihin. Mikäli piste luetaan koneohjausta käyttävältä työkoneelta, mittaus tapahtuu työkoneen mittaushetkellä käyttämän pintamallin mukaan. Tiedot tallentuvat valittuun kansioon, kun luetaan toteumapisteitä käyttäjän tietokoneelta. Vertailu tehdään tämän jälkeen automaattisesti lähimmän pinnan suhteen tai käyttäjän valitseman pintamallin suhteen. Kuussa 9 ja 10 on esitelty tarkemittauksia väylän K4 kohdalta. Kartalta saa valittua kohdan, josta haluaa nähdä poikkileikkauksen, jossa tarkastella mittauksia. Poikkileikkauks kuvassa näkyy paalulukema, jonka kohdalta väylää poikkileikkaus on otettu. Tarkemittaukset hyväksytään työmaavalvojan ja urakoitsijan kesken Infrakitissä.



Kuva 9. Vihdintie-hanke, tarkemittaukset väylän K4 kohdalla.



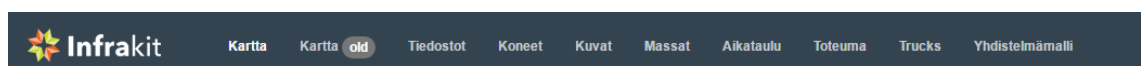
Kuva 10. Kaivinkoneen mitaamat tarkepiisteet poikkileikkauksessa väylän K4 kohdalla.

## 4 Infrakit-pilvipalvelu

Vihdinte-hankkeessa oli käytössä Infrakit-pilvipalvelu. Infrakit on digitaalinen järjestelmä infraprojektien sujuvoittamiseen ja hallintaan. Infrakitin avulla rakentajalla on käytössä ajantasaiset suunnitelmat ja projektiin liittyvät asiakirjat yhdessä paikassa. Infrakitiin tallentuvat toteumatiedot, joista pystyy luomaan toteumamallin. Infrakitin avulla pystyy myös tehokkaasti seuraamaan urakan kehitystä, esimerkiksi massalaskentaa ja aikataulua. [5] Infrakit-palvelu käyttö vaatii lisenssin, joita esimerkkiprojektissa oli suunnittelijalla, tilaajalla, valvojalla ja urakoitsijalla (työkoneet, mittamiehet, työnjohto).

### 4.1 Infrakitin ominaisuudet

Infrakitin ladatut suunnitelmat on helppo päivittää, kun suunnitelmanmuutoksia syntyy, ja ne näkyvät automaattisesti kaikille käyttäjille. Urakan aikana mitatut työmaamittaukset tallentuvat Infrakitiin, ja niistä on helppo muodostaa toteumamalli. Näin tilaaja pääsee seuraamaan hankkeen etenemistä ja eri työvaiheita, ilman konkreettista vierailua työmaalla. Hankkeen laatuasioista on helppo huolehtia Infrakitin avulla, sillä sinne pystytään lataamaan kaikki laatuun tarvittavat asiakirjat. Myös esimerkiksi kuvat sijaintitietoineen tallentuvat Infrakitiin. Hankkeen aikataulua ja massanvaihtoa voi seurata Infrakitistä omien valikkojen alta (kuva 11). [17]



Kuva 11. Infrakitin valikot [17].

Infrakitistä pystytään seuraamaan erilaisia työkoneiden käyttöön liittyviä tietoja. Koneetvälilehdellä näkyvät kaikki projektille tuodut työkoneet ja niiden sijainti päämittalinjalla, yhteysaika viimeisen 7 päivän ajalta, työskentelyn tehokkuus ja viimeisin yhteysaika. Aktiiviset koneet näkyvät vihreänä, ei-yhteydessä olevat punaisella, ja keltaisella pallolla varustetut koneet eivät ole kyseisellä hetkellä käytössä. Ns. liikennevalot kertovat myös koneiden päivittymistilasta (kuva 12). Viimeaikaisen käyttötilaston saa myös ladata jokaisesta koneesta erikseen. Työkoneen liittäminen hankkeen inframalleihin toimii hallitsemalla mallioikeuksia. Valinnalla voidaan myös valita ne hakemistot ja hakemistojen sisältä yksittäiset tiedostot, jotka päivitetään kyseiselle työkoneelle. Isossa hankkeessa saattaa olla useampia hakemistoja. Mallioikeuksien hallinnalla nopeute-



taan koneen käyttöönottoaikaa, kun vain tarvittavat hakemistot siirtyvät niitä tarvitseville työkoneille. Myös koneen kalibrointi onnistuu Infrakitin kautta. [19]

| 5<br>Online               | 42.0%<br>Koneiden<br>käyttörajo<br>13,070:3436 | 93t<br>Työaika     | ≡ YLEISKUVA |                     | KONEIDEN KÄYTTÖTILASTO |                  | KÄYTTÖTILASTOT |                  | HALLITSE MALLIKONEUKSIA |  | TARKKUUS |  |
|---------------------------|--|--------------------|-------------|---------------------|------------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------------|--|----------|--|
| Koneen nimi               | Toiminnot                                      | Tyyppi             | Paalu       | Viimeisin yhteys    | Koneiden käyttötilasto | Yhteysaika (7pv) | Kuljettaja     | Lisätiedot       |                         |  |          |  |
| Hitachi ZX 225LC Vindline |  | Novatron Excavator | 0           | 04.04.2017 10:50:23 | 74%                    | 46t              | Rinne-Latvi Oy |                  |                         |  |          |  |
| PUSSINEN DOOSAN ENG       |  | Trimble Excavator  | 0           | 04.04.2017 10:51:12 | 0%                     | 0t               |                | CB460-3453J729SW |                         |  |          |  |
| PUSSINEN CAT325D1009      |  | Trimble Excavator  | 0           | 04.04.2017 10:50:21 | 0%                     | 0t               |                | CB460-3453J729SW |                         |  |          |  |
| CAT CS56                  |  | Trimble Excavator  | 0           | 30.01.2017 12:12:50 | 0%                     | 0t               |                | CB460-0653J150SW |                         |  |          |  |
| Tuokko CAT325 3D va       |  | Trimble Excavator  | 0           | 04.04.2017 10:52:45 | 100%                   | 1t               |                | CB460-2366J060SW |                         |  |          |  |
| Volvo Z20EL               |  | Novatron Excavator | 0           | 04.04.2017 10:51:12 | 78%                    | 46t              | Petri Lehtonen |                  |                         |  |          |  |

Kuva 12. Työkoneiden aktiivisuus.

## 4.2 Inframallien tuonti Infrakitiin

Mallit viedään Infrakitiin käsin ja päivitettyt suunnitelmat ladataan edellisen version päälle, jolloin vanhoja tiedostoja ei näy luettelossa. Vanhaan revisioon pääsee kuitenkin käsiksi, vaikka mallista olisi jo useampia uusia revisioita. Työkoneille ei tarvitse erikseen viedä tietoa USB-tikulla, vaan mallit päivittyvät työkoneille automaattisesti, kun ne on ladattu Infrakitiin. Koska suunnitelmat pitää viedä kuitenkin käsin Infrakitiin ja päivitys tapahtuu samalla tekniikalla, ei tiedonhallinta ole optimaalista. Automatisaatio koskee vain Infrakitin ja koneohjauslaitteiden välistä tiedonsiirtoa. Tulevaisuudessa on ehkä mahdollista löytää keino, jolla suunnitelmaan suunnitteluohjelmalla tehdyt muutokset siirtyisivät suoraan samantyyppisen pilvipalvelun kautta työkoneille. Lisää inframallien viennistä Infrakitiin esitellään myöhemmin tässä insinöörityössä, luvussa 5.2 Infrakit-projektiohje. Toteuma- ja tarketiedot on mahdollista ladata omalle koneelle Infrakitistä, jos haluaa tarkastella tietoja esimerkiksi jossain muussa ohjelmassa.

## 5 Tietomallipilotti

Insinööriyön tuloksena syntyi kolme ohjetta, jotka laadittiin liitteeksi Espoon Tietomallipohjainen hanke – Rakentaminen -ohjeeseen. Ohjeet olivat insinööriyön palauttamishetkellä vielä luonnosvaiheessa. Infrakit-projektiohjetta on tarkoitus jatkaa Vihdintien hankkeen valmistumiseen, eli joulukuuhun 2017 asti, sillä sen tarkoituksena oli kartoittaa ongelmia ja ratkaisuja erilaisiin ongelmiin ohjelmiston käytössä koko hankkeen ajan. Ohjeiden muodostuminen vei paljon aikaa, sillä InfraRYLiä ja YIV-ohjeita täytyi noudattaa aukottomasti. Ohjeista haluttiin saada yksinkertaiset, jotta ne palvelisivat juuri nimenomaan urakoitsijaa, olematta kuitenkaan liian suppeat, jolloin tietoa joutuisi etsimään useammasta kohteesta.

Pilotin tilaajina olivat Espoon kaupunki ja Pöyry Finland Oyj. Ohjeiden muodostukseen osallistuivat Espoon kaupungin Jari Kainuvaara ja Pöyry Finland Oyn tiesuunnitteluosaston osastopäällikkö Harri Sivonen. Työmaanäkökulmasta apuja ohjeiden muodostukseen antoi osaltaan valvontarakennusmestari Miikka Gröndahl ja edellisten hankkeiden käytännöistä sain tietoa Pöyry Oyn projektipäällikkö Ilkka Puustiselta. Oli tärkeä nähdä myös työmaan näkökulmasta, minkälainen ohjeistus on tarpeen, sillä ohjeet olivat suunnattu nimenomaan urakoitsijalle.

Ohjeiden muodostus oli monivaiheinen prosessi; ensin oli tekeillä vain yksi ohje ja lopulta päädyttiin erottamaan ne kolmeksi erilliseksi ohjeeksi. Vaikeaa ohjeiden laadinnassa oli erityisesti tarkemittausten ja toteumamallin (toteumamittausten) erottaminen eri ohjeiksi. Tietomallipilotista pidettiin useita kokouksia työryhmän välillä, johon osallistuivat Jari Kainuvaara Espoon kaupungilta ja Pöyry Finland Oyn Harri Sivonen. Infrakit-ohjeen muodostamiseen apua toi työmaakokouksissa esille nostetut ongelmat.

### 5.1 Tietomallipohjaisten hankkeiden yleinen ohje

Tietomallipohjainen hanke – Rakentaminen -ohje eli niin kutsuttu emo-ohje oli myös luonnosvaiheessa insinööriyön tekovaiheessa. Ohjeen on kuitenkin tarkoitus sisältää yleistietoa Espoon tietomallipohjaisille hankkeille. Ohje on valmistettu niin, ettei vanhentavaa tietoa ole juurikaan, vaan YIV2015-ohjeiden muutokset koskevat myös Espoon ohjetta. Tietomallipohjainen hanke – Rakentaminen -ohjeessa kerrotaan lyhyesti Yleistä inframallivaatimuksista, nimikkeistöstä ja tiedonsiirtoformaateista, aineistoista ja

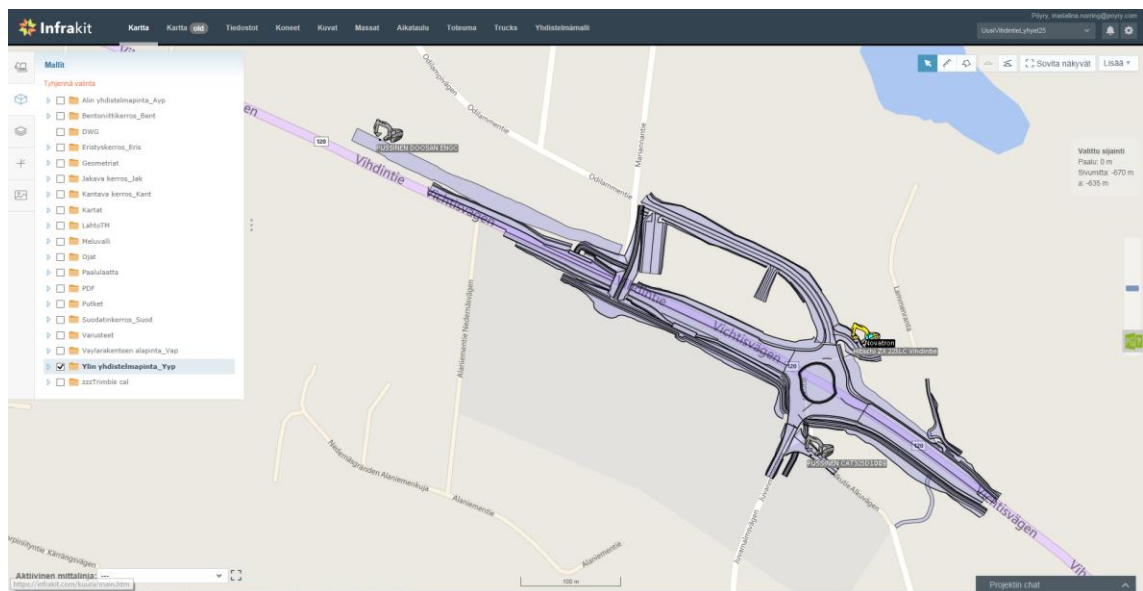
suunnittelun työmaapalveluista, rakentamisvaiheen mittauksista, laadunvarmistuksesta ja toteuma-aineistosta sekä luovutusvaiheen menettelyistä.

## 5.2 Infrakit-projektiohje

Infrakit-projektiohjeessa määritellään Infrakitin yhteiset toimintatavat ja pelisäännöt Vihdintien esimerkkiprojektissa. Ohjetta on myös mahdollista soveltaa tuleviin hankkeisiin. Infrakit-projektiohjetta oli tarkoitus täydentää Vihdintien esimerkkiprojektin rakentamisen loppuun saakka, ollen siten apuna uusissa projekteissa, joissa olisi käytössä Infrakit-pilvipalvelu.

### 5.2.1 Ohjeistus inframallien tuontiin

3D-koneohjausmallien käyttöönotto Infrakitissä osoittautui yhdeksi haasteeksi Vihdintien esimerkkihankkeessa. Työmaalla koettiin tärkeäksi, että alueet olisi jaettu pienemmiksi osiksi esimerkiksi väylittäin, mutta tämä olisi lisännyt tiedostojen määrää työkoneissa, sillä koneet tekivät töitä koko projektin alueella. Kohde on melko pieni (n. 700 m), joten päädyttiin kuitenkin lataamaan mallit pintojen mukaan (kuva 13).



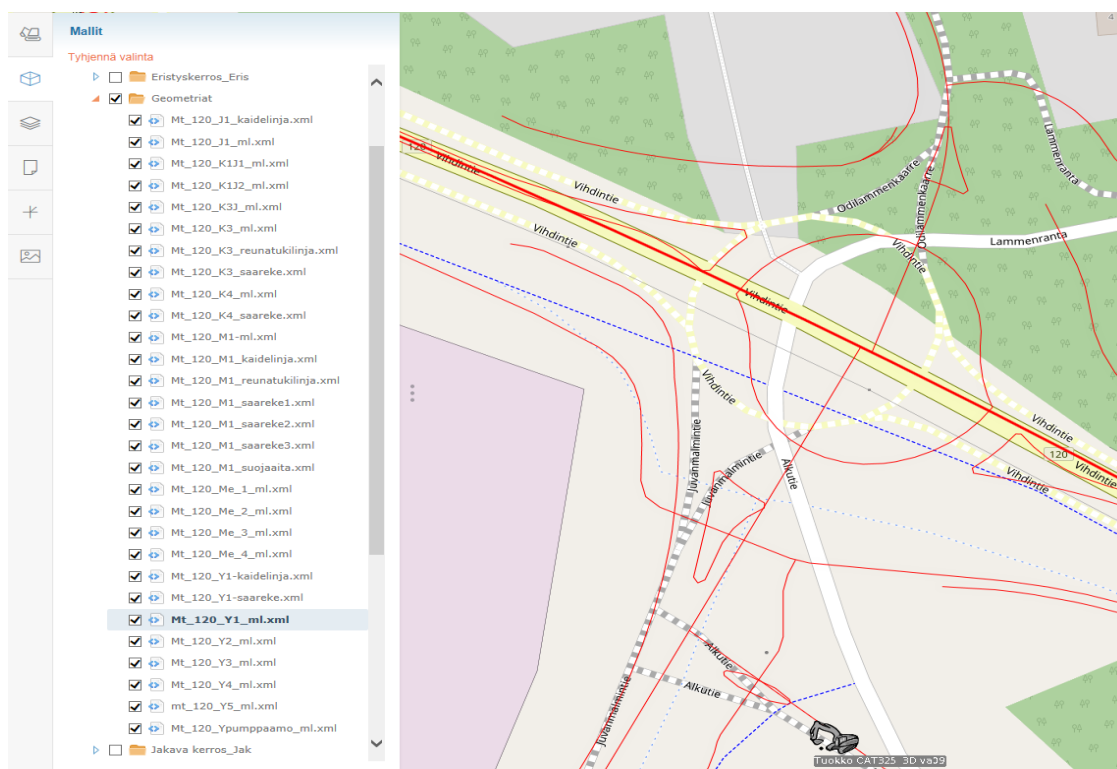
Kuva 13. Esimerkkikuva Vihdintie-hankkeen inframallien kansiojaosta. Mallit on jaettu pintojen mukaan. Aktiivisena ylin yhdistelmäpinta, joka näkyy kartalla violetina alueena.

Pinnoista tuotetaan 3D-viiva- ja pintamallit, ja ne tuodaan pintojen mukaan nimettyihin kansioihin LandXML-standardin mukaisessa Inframodel-formaatissa. Pintamallit nimitään muodossa pääväylä\_väylä\_pinta\_pm.xml ja viivamallit muodossa pääväylä\_väylä\_pinta.xml. Pintojen lyhenteet ovat

|              |  |
|--------------|--|
| <b>Ayp</b>   | alin yhdistelmäpinta                         |
| <b>Bent</b>  | bentoniittikerros                            |
| <b>Eris</b>  | eristyskerros                                |
| <b>Jak</b>   | jakava kerros, yläpinta                      |
| <b>Kant1</b> | kulutuskerroksen asfalttibetoni AB, yläpinta |
| <b>Suod</b>  | suodatinkerros, yläpinta                     |
| <b>Vap</b>   | väylärakenteen alapinnat                     |
| <b>Yyp</b>   | ysin yhdistelmäpinta                         |
| <b>Sitk</b>  | sitomaton kantava kerros, yläpinta           |

Lisäksi Infrakitiin viedään geometriat, kartat, ojat, putket, paalulaatta, lähtötietomalli ja varusteet. Geometriatiedostot nimetään muodossa pääväylä\_ko.väylä\_geometria.xml (kuva 14). Ensimmäisenä mainitaan pääväylän nimi, sen jälkeen mihin väylään tieto liittyy ja lopuksi geometrian lyhenne (esimerkiksi Mt\_120\_K3\_ml.xml). Paaluvälitieto lisätään tiedostonimeen, jos väylä on jaettu useampiin osiin. Mallit tehdään noin 1 km:n pituisina osuuksina. Jos geometrioita (esim. saarekkeita) on useampia samassa tiedostossa, Infrakit lukee niistä vain ensimmäisen. Saarekkeiden geometriat täytyy tällöin tuoda erikseen suunnitteluohjelmasta Infrakitiin. Geometrioiden lyhenteet ovat

|           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| <b>ml</b> | mittalinja                           |
| <b>rk</b> | reunatuki                            |
| <b>rm</b> | reunatuki madallettu                 |
| <b>mv</b> | liittymäkaaret, ajoradan maaliviivat |
| <b>ar</b> | asfaltin reuna                       |
| <b>pr</b> | soratien reuna                       |
| <b>kl</b> | ajoradan keskilinja                  |
| <b>mk</b> | melukaide                            |
| <b>tk</b> | tiekaide                             |
| <b>ma</b> | meluaita                             |
| <b>ai</b> | aidat                                |
| <b>ra</b> | riista-aita                          |



Kuva 14. Geometrioiden nimeäminen.

### 5.2.2 Hankkeen muutos

Vihdintien esimerkkiprojektissa oli käytössä myös Trimblen koneohjausjärjestelmää käyttäviä koneita. Trimble käyttää ohjelmistossaan kansainvälisiä ”lyhyitä” koordinaatteja (EPSG:3132). Muut työkonet olivat Novatronin koneohjausjärjestelmää käyttäviä, jotka käyttivät Suomessa käytettäviä ”pitkiä” koordinaatteja (EPSG:3879). Tämä aiheutti sen, että päätettiin vaihtaa kaikki inframallit EPSG:3132:een (miinus 25 000 000 y-koordinaatista), sillä Novatron osasi lukea myös kansainvälisiä koordinaatteja. Tämän jälkeen Trimblen koneohjausmallien taiteviivat täytyy nimetä muotoon mallin\_nimi.bg.dxf. Kolmiodut pintamallit tuodaan normaalisti xml-tiedostoina. Vanhoille toteumatiedoille tehdään koordinaattimuunnos ja ne ladataan uuteen hankkeeseen, huomioiden, että toteumien päiväys muuttuu latauspäiväksi. [19] Kuvassa 15 käynnissä on juuri hankkeen muutos Vihdintiellä.



Kuva 15. Hankkeen muutos Trimblen työkoneille. (Kuva: Marialina Norring)

### 5.2.3 Tiedostojen tallentaminen ja laadunhallinta

Infrakit-projektiohjeessa ohjeistetaan myös, kuinka hankkeessa menetellään tarkemittausten kanssa. Mittamiehen mittaamat tarkemittaukset ladataan Infrakitiin ja kaikilla pisteillä tulee olla metatietona pisteen mittausmenetelmä (takymetri/gnss) ja pisteet koodataan oikein, jotta Infrakit osaa lukea pisteen oikealle pinnalle. Toteumamallin tekoon ja tiedonsiirtoon ohjeistaa toteumamalliohje.

Poikkeamat korjataan ja tämän jälkeen mitataan uudet tarkepisteet. Jos poiketaan toteutusmallista toleranssinyllityksillä, rakennuttaja hyväksyy tai hylkää rakennusosan. Toleranssin sisällä olevat muutokset työmaa voi hyväksyä itse. Poikkeamat käsitellään esimerkiksi kerran viikossa (työmaa ja rakennuttaja) ja ne hyväksytään Infrakitissä hyväksyntätyökalulla.

### 5.3 Tarkemittausohje

Tarkemittausohjeen tarkoituksena on yksinkertaistaa tarkemittausten teko urakoitsijalle. Tarkemittauksia voidaan tehdä joko mittaustyöstä vastaavan henkilön toimesta (takymetrillä) tai koneohjausautomaation avulla. Tarkemittausohjeen edelle menevät urakakohtaiset ohjeet, ns. emo-ohje ja tietenkin InfraRYL. Tarkemittausohjeen pohjana on

käytetty InfraRYL:iä ja YIV2015-ohjeita sekä aikaisempia Espoon kaupungin ohjeita. Tarkemittausohjeessa määritellään mittausvälit tarkemittauksille ja mittaukseen liittyvä ohjeistus, alimman yhdistelmäpinnan tarkemittausohje ja sekä mittausten tarkkuusvaatimukset. Ohje jäi vielä luonnokseksi insinööriyön palauttamishetkellä.

### 5.3.1 Mittausvälit

Tarkemittausohjeessa ohjeistetaan tarkemittausten mittausvälit. Aikaisemmassa Espoon ohjeessa ei ollut määritelty tarkemittauksia erityisemmin ja vain osalle pinnoista oli annettu jonkinlainen tarkemittausohje. YIV2015 ohjeessa (12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä – Geometristen mittojen laadunvalvonta) oli ohjeistettu suoralla ja kaarresäteen ylittäessä 3000 mittausväliksi 200 m ja kaarresäteen ollessa alle 3000 mittausväliksi 100 m. Pilottihankkeen aikana syntyneeseen ohjelunnonkseen haluttiin jokin yhtenäinen mittausväli, jota tulisi noudattaa kaikissa hankkeissa. Päätettiin tehdä kolme eri kokoluokkaa ja ohjeistaa mittavälit niiden mukaan (taulukko 1). Mittausvälejä ei kuitenkaan tule noudattaa, mikäli mittaustulokset eivät täytä InfraRYL-vaatimuksia (taulukko 2). Tarkemittauksia otetaan myös kaikista rakenteiden muutoskohdista eli alusrakenteen tai kerrospaksuuden muutoskohdista. Tarkemittaus tehdään väylän mittalinjan suhteen seuraavin mittausvälein:

Taulukko 1. Tarkemittausohjeen mittausvälit tarkepisteille.

| <b>1. Pieni kohde (&lt; 200 m )</b> | <b>Mittausväli (m)</b> |
|-------------------------------------|------------------------|
| Suora                               | 50                     |
| Kaarresäde > 300                    | 50                     |
| 300 < Kaarresäde > 150              | 20                     |
| Kaarresäde < 150                    | 10                     |

| <b>2. Keskisuuri kohde (&lt; 3 km)</b> | <b>Mittausväli (m)</b> |
|--|------------------------|
| Suora                                  | 100                    |
| Kaarresäde > 1000                      | 100                    |
| 1000 < Kaarresäde > 500                | 40                     |
| Kaarresäde < 500                       | 20                     |

| <b>3. Suuri kohde (&gt; 3 km)</b> | <b>Mittausväli (m)</b> |
|-----------------------------------|------------------------|
| Suora                             | 200                    |
| Kaarresäde > 3000                 | 200                    |
| 3000 < Kaarresäde > 500           | 100                    |
| Kaarresäde < 500                  | 20                     |

Taulukko 2. YIV2015-ohjeen osassa 12.1 esitetyt InfraRYL- maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus [18].

| Rakenneosia   | Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL) (mm) | Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL) (mm) | Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava mittaustarkkuus toteumamittauksia varten XY;Z (mm) |
|---|--|--|---|
| <b>Maaleikkaus (201100), maatai louhepengeri (18100), tie ja rata</b> | -0 / + 200   | +0 / -100  | +100 ; +-30   |
| <b>Suodatinkerros, tie/rata (211100)</b>                              | -0 / +150  | +40  | +100 ; +- 30  |
| <b>Jakavakerros, tie (212100)</b>                                     | -0 / +150  | +30  | +100 ; +-30   |
| <b>Kantavakerros, tie (213100)</b>                                    | -0 / +150  | +20  | +100 ; +-20   |
| <b>Eristyskerros yläpinta, rata (212200)</b>                          | -0 / +100  | +0 / -50   | +100 ; +-20   |
| <b>Välikerros yläpinta, rata (212300)</b>                             | -0 / +50   | +0 / -20   | +100 ; +-20   |

### 5.3.2 Tarkemittausten tarkkuusvaatimukset

Tarkemittausten tarkkuusvaatimus perustuu Espoon Tietomallipohjainen hanke – Rakentaminen -ohjeeseen, jossa tarkkuusvaatimus perustuu suhteelliseen pistevirheeseen. Mitattavan pisteen kaikkien koordinaattien suhteen on päästävä vähintään seuraaviin tarkkuuksiin: keskivirhe saa olla enintään 50 mm, maksimivirhe enintään 100 mm ja maksimin ylittäviä pisteitä enintään 1 %. Vesihuollon ja kaapeleiden tarkkuuksista on erikseen määrittelyt HSY:n veden ja Espoon johtotietojaoksen ohjeissa, joihin tässä insinöörityössä ei paneuduta.

3D-koneohjausjärjestelmää käyttäville työkoneille käytetään toteumamallissakin käytettävää ohjeistusta tarkkuudesta. Tarkkuusvaatimukset on esitetty Yleisten inframallivaatimusten osassa 12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvalvontajärjestelmä koh-



dassa 2. Taulukossa 2 esitetystä työkoneautomaatiojärjestelmästä vaadittava mittaus-tarkkuusvaatimus ei poista InfraRYL- laatuvaatimuksia lopputuotteen osalta. [18]

### 5.3.3 Mittausohje

Tarkemittausohjeessa päätettiin ohjeistaa vain alimman yhdistelmäpinnan tarkemittauksia, ja muiden pintojen mittaukset ajateltiin kuuluvan enemmän toteumamittauksen puolelle. Alemmasta yhdistelmäpinnasta mitataan pinnan taitteet, luiskat, leikkauksen kulma, päällysrakenteen kulma, kaivannon alareuna (kanaalin pohja) ja kaivannon yläreuna (kanaalin yläreuna). Lisäksi mitataan kevyenliikenteenväylän ns. pykälä, jos kor-koero on yli 200 mm. Mitatuissa taiteviivoissa käytetään InfraBIM-koodausta.

## 5.4 Toteumamalliohje

Toteumamalliohjeessa käsitellään toteutusmallin päivitys, toteumamallin muodostusta-pa, mitattavat kohteet, toteumamallin tarkkuus, toteumamalliaineiston toimitus sekä toteumamalliselostuksen ohjeet.

### 5.4.1 Milloin toteutusmallia päivitetään

Toteutusmallia päivitetään aina kun toteuma eroaa toteutusmallista. Joko toleranssi ylittyy tai muita muutoksia esiintyy tai ollaan päätetty rakentaa toisin kun toteutusmal-lissa ohjeistetaan. Tämän lisäksi toteumamallissa esitetään aina mitattavat kohteet kallonpinta, ylin yhdistelmäpinta, massanvaihto ja siirtymäkiila. Tarkkeet jätetään nä-kyviin toteumamalliin, vaikka varsinaista muutosta toteutusmallin ei synny.

### 5.4.2 Ylimmän yhdistelmäpinnan toteumamalli

Teiden, väylien ja katujen ylimmän pinnan toteumamalli koostuu kaikesta rakentamisen valmistumisen jälkeen näkyville jäävästä pinnasta. Ylimmän pinnan toteumamalliin kuu-luu mm. päällysteet, pintaverhoukset, reunojen taiteviivat, reunatukien ala- ja yläpinnat, luiskat, pinnan taitteet, tukimuurit, istutetut puut ja liikennemerkkit. Ylimmän yhdistelmä-pinnan toteumamalli tehdään rakentamisen aikana ja sen jälkeen kerätyn aineiston perusteella.

Näkyvästä pinnasta kartoitetaan maastomalli. Vesihuollon ja johtotietojen ohjeiden mukainen katualueella näkyviin jäävä aineisto tulee sisällyttää ylimmän yhdistelmäpinnan toteumamalliin. Kartoitus voidaan suorittaa kovien pintojen osalta takymetrimittauksena tai laserkeilauksena ja pehmeiden pintojen (muut kuin päällysteet, reunatuet ja taitorakenteet) osalta laserkeilauksena tai fotogrammetriana. Osa toteuma-aineistosta saadaan johtotietojen kautta (valaisinpylväät, muuntajat, liikennevalot) sekä HSYn kautta (pumppaamo, vesijohdot, jätevesi, kannet). Viiva- ja pisteaineiston koodaus suoritetaan YIV-nimikkeillä.

#### 5.4.3 Alin, jakava ja kantava yhdistelmäpinta

Alimman, jakavan ja kantavan yhdistelmäpinnan toteutusmallit muodostavat toteumamallin, jos muutoksia ei synny ja toleranssit eivät ylity.

Toleranssin ylittyessä ja muutoskohdissa voidaan:

1. Siirtää toteutusmallia kokonaisuutena tarkepisteiden mukaan
2. Tehdä uusi malli tarkemittausten perusteella, josta muodostuu toteumamalli

Muokkaus voidaan tehdä esimerkiksi 3D-Winillä. Alimman yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimeämisessä käytetään InfraBIM-nimikkeistöä

#### 5.4.4 Toteumamallin tarkkuus

Toteumamallin tarkkuusvaatimuksia ei ole varsinaisesti ohjeistettu Yleisissä inframallivaatimuksissa, vaan ne on johdettu suoraan toteutusmallin vaatimuksista. Espoon toteumamalliohjeessa toleranssirajaksi päätettiin ohjeellisesti, että toteuma ei saa ylittää toteutusmallia yli 50 millimetrillä tai alittua yli 200 millimetrillä. Jos toleranssiraja ylittyy, täytyy toteumamalliin tehdä muutoksia, (olettaen, että toteutusmalli on toteumamalli siihen asti, kun muutoksia tai toleranssinylityksiä ei synny). YIV2015 5.3 Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohjeessa viitataan tarkkuudessa YIV2015 5.2. Maanrakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohjeeseen, kun toteutusmallia käytetään toteumamallina ja kartoitetun tiedon tarkkuudessa vaaditaan mittauksen osoittavan vallitsevat taitteet ja mittauksen tarkkuuden oltava riittävän tarkka määrälaskennan tarpeisiin. Luku 5.2 johtaa taas edelleen InfraRYLin ensimmäiseen osaan väylien ja rakenteiden lopullisissa tarkkuusvaatimuksissa. YIV2015 5.2:ssa on ohjeistettu, että toteutusmallin taiteviiva saa poiketa enintään 3 mm suunnitelman laskennallisesta geometrialinjasta.

#### 5.4.5 Toteumamalliaineiston toimitus

Toteumamalliohjeessa on ohjeistettu, kuinka lopullinen aineisto tulee toimittaa. Toteumamalli sisältää kaikkien pintojen mallit kolmioituna Inframodel 3 -formaattissa. Mitattu kalliopinta toimitetaan kolmioituna omana mallinaan ja mitattu kallion irtilouhinta kolmioituna omana mallinaan. Pistemäiselle tiedolle käytetään gt-formaattia tai muuta 3D-Win-yhteensopivaa formaattia. Toteumamalliaineisto tarkastetaan YIV2015-ohjeiden mukaan; päällekkäisiä pisteitä ei saa esiintyä ja koodaus on oltava oikein. Toteumamalliaineiston lisäksi toimitetaan tietomalliselostus, jossa esitellään toteumamallin poikkeamat perusteluineen.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Lopputulos

Pilottihankkeen tavoitteena olleet ohjeet tarkemittausohje ja toteumamalliohje jäivät luonnoksiksi insinööriyön valmistumishetkellä. Aikataulullisten tekijöiden vuoksi Infrakit ohjelman uusien toimintamallien ja ratkaisujen etsintä jatkuu pilotissa opinnäytetyön palautuksen jälkeen. Aikaisempaa vakioitua tietomallipohjaisten hankkeiden ohjeistusta ei Espoon kaupungilla varsinaisesti ole varsinaisesti ollut, joten ohjeistus tuli tarpeeseen. Nimikkeistön ja tietojen tallennustavan vakinaistaminen ja automatisointi on kannattavaa, ja sillä tullaan säästämään aikaa ja kustannuksia tulevilla hankkeilla. Infra-BIM-ohjeistus antaa hyvän pohjan nimikkeistön vakinaistamiseen, mutta ohjeissa on vielä puutteita ja aukkoja. LandXML-formaatti on askel oikeaan suuntaan tietojen tallennuksessa, mutta sekava esitystapa hankaloittaa automatisointia. Hyödyn varmistamiseen tarvittaisiin myös kaikkien tahojen sitoutuminen yhtenäisiin käytäntöihin.

### 6.2 Tulevaisuudennäkymät

Tulevaisuudessa toteumamalleista saadusta tiedosta on hyötyä esimerkiksi omaisuudenhallinnassa. Toteumatiedosta kunnat saavat sellaista informaatiota, jota voidaan myöhemmin käyttää esimerkiksi tiettyjen alojen laskemiseen tai maanalaisten rakenteiden paikantamiseen. Näitä tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi ylläpidon kustannusarvioinnissa (lumityöt, hoitotyöt) tai uuden rakennuskohteen lähtötietomallissa. Hyödyllistä on varsinkin, että maanalaisille putkille, kaapeleille ja esimerkiksi kalliopinnalle on tallennettu oikea sijainti- ja korkeustieto. Nämä tiedot helpottavat uusien hankkeiden kustannusarvioinnissa, sillä tiedon perusteella pystytään ennakoimaan paremmin paljonko esimerkiksi uusi kaivanto tulee maksamaan. Lisäksi eri hankkeet usein liittyvät toisiinsa tai maantieteellisesti vierekkäiset hankkeet vaikuttavat toisiinsa. Tiedon hallinnassa on kaikilla kunnilla haastetta. Hankkeet tulisi kerätä yhdenmukaisesti samaan järjestelmään, joka on kunnan omassa hallinnassa, eikä hallinnoida niitä eri prosessein monissa eri projektipankeissa.

Tietomallinnus jo itsessään on melko uusi toimintatapa, ja se kehittyy jatkuvasti. Kehitystyöhön tarvitaan monen tahon yhteistyötä ja tahtoa kehittää mallinnusta yhtenäiseen suuntaan. Tietomallien hallinnointi perustuu siihen, että malli on sekä laadullisesti ni-

mikkeistönsä osalta että teknisesti kooditasoltaan vakioitu. Inframodel-formaatti ei ole vielä teknisesti vakioitu, eikä se täytä automatisaation vaatimuksia.

Tekninen ja laadullinen standardoiminen on siis seuraava askel tietomallinnuksen kehittämisessä. Ilman sitä osa mallinnuksessa tehdystä työstä valuu hukkaan. Kun kaikki käyttävät samaa standardia, on tiedon jakaminen helppoa ja hyödyllistä. Esimerkiksi omaisuudenhallinnan tietomallin kehittäminen yhdenmukaiseksi InfraBIM-nimikkeistön kanssa olisi hyödyllistä, sillä kunnat pystyisivät hyödyntämään tietoa esimerkiksi teiden ja puistojen inventointiin ja kuntotietojen keräämiseen. Tämän lisäksi omaisuudenhallinnan digitalisaatio tehostaa sekä viranomaisen ylläpitotyötä että kansalaisen saamaa asiakaspalvelua, sillä katurekisterin lisäksi varusteet, laitteet, katupuurekisteri, venesatamat, lupienhallinta kuuluu omaisuudenhallinnan digitalisoinnin piiriin. Jos esimerkiksi kaikki vuokrapaikkojen tai -tilojen varaus tapahtuu verkossa, tällä vähennetään asiakaspalveluihin syntyvää ruuhkaa. [20]

Uusia innovaatioita aiheeseen on tuonut mm. Kiradigi-hanke. Kiradigi-hankeessa on kyse kartoittaa kiinteistö- ja rakennusalan digitalisaation kehitystarpeet ja luoda hankkeita sen parantamiseksi. Hallituksen kärkihankkeessa ovat mukana ministeriöt, kunnat ja KIRA-foorumi. KIRA-digi hankkeen kokeiluhankkeiden tavoitteena on vauhdittaa alan digitalisaatiota ja uudistaa alan toimintatapoja sekä luoda ja testata uusia digitaalisia ratkaisuja sekä parantaa niiden yhteentoimivuutta.

## Lähteet

- 1 Tietomallinnus. 2017. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.  
<<http://www.liikennevirasto.fi/>> Luettu 16.3.2017.
- 2 Junnonen, Juha-Matti (toim.). 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infra-suunnittelu. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.
- 3 Tuhola, Esa & Viitanen, Kristiina. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.
- 4 Mitä on koneohjaus. 2017. Verkkodokumentti. Novatron.  
<<http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>> Luettu 20.1.2017.
- 5 Infrakit-pilvipalvelu. 2017. Verkkodokumentti. Infrakit.  
<<https://infrakit.com/fi/>> Luettu 20.1.2017.
- 6 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.
- 7 3D-koneohjaus. 2017. Verkkodokumentti. 3D-Koppi Oy.  
<<http://www.3dkoppi.fi/3d-koneohjaus/>> Luettu 20.1.2017.
- 8 Infra-ala oppi tehostamaan. 2013. Verkkodokumentti. Infra-lehti. 2013/4.  
<[https://issuu.com/infra-lehti/docs/2013\\_4](https://issuu.com/infra-lehti/docs/2013_4)> Luettu 22.1.2017
- 9 Inframalli ja mallinnus hankkeen eri vaiheissa. 2015. Yleiset inframallivaihtimukset 2015. Verkkodokumentti. buildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <[https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA4\\_Mallinnus\\_hankkeen\\_eri\\_vaiheissa\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankkeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf)> Luettu 22.1.2017.
- 10 Selvitys Infran tietovarantojen hallinnasta. 2013. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2013-23\\_infran\\_tietovarantojen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-23_infran_tietovarantojen_web.pdf)> Luettu 22.1.2017.

- 11 Tietomallipohjainen hanke. 2015. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Verkkodokumentti. buildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <[https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf)> Luettu 22.1.2017.
- 12 Inframodel. 2017. Verkkodokumentti. buildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/inframodel/>> Luettu 22.1.2017.
- 13 InfraBIM-nimikkeistö. 2017. Verkkodokumentti. BuildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>> Luettu 25.1.2017.
- 14 Yleiset vaatimukset. 2015. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Verkkodokumentti. BuildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <[https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA2\\_Yleiset\\_Vaatimukset\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf)> Luettu 25.1.2017.
- 15 About LandXML. Verkkodokumentti. LandXML.org. <<http://www.landxml.org/About.aspx>> Luettu 25.1.2017.
- 16 Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta. 2013. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-20\\_tiehankkeiden\\_mallipohjaisen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf)> Luettu 25.1.2017.
- 17 Infrakitin ominaisuudet. Verkkodokumentti. 2017. Infrakit. <<https://infrakit.com/fi/ominaisuudet/>> Luettu 30.1.2017.
- 18 Maanrakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Verkkodokumentti. BuildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <[https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2015/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_Osa12\\_1\\_Maarakentamisen\\_mallipohjainen\\_laadunvarmistusmentelmae\\_V\\_1\\_01.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2015/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12_1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmenetelmae_V_1_01.pdf)> Luettu 30.1.2017.

- 19 Koneohjausjärjestelmät. 2017. Verkkodokumentti. Infrakit.  
<<http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mcs>> Luettu 2.2.2017.
- 20 Infraominaisuuden hallinta. 2017. Verkkodokumentti. Viasys.  
<<http://www.viasys.fi/yleinen/infraomaisuuden-hallintaa-site-online/>>  
Luettu 3.2.2017.
- 21 InfraBIM. 2017. Verkkodokumentti. BuildingSmart Finland. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/>> Luettu 20.3.2017.



